CHapitre 15 - Activité documentaire -
Accélérateur linéaire de particules chargées

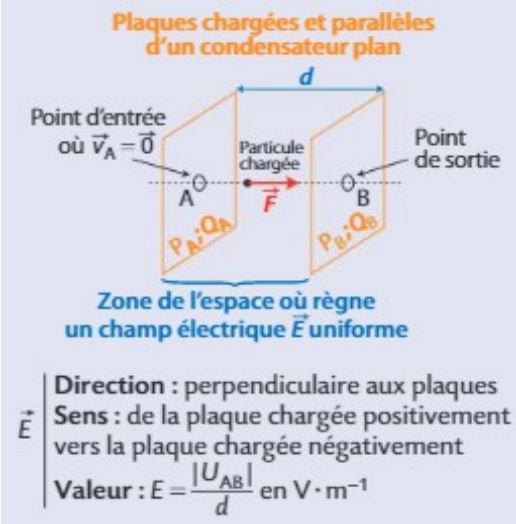
Un accélérateur linéaire permet d'accélérer en ligne droite des particules chargées (électrons, protons, ions). Il utilise les propriétés du champ électrique $\vec{E}$. On utilise notamment des accélérateurs linéaires en radiothérapie.

Quel est le principe de fonctionnement d'un accélérateur linéaire de particules chargées ?

I. Documents mis à disposition :

Document 1 : Accélération dans un champ électrique uniforme

Un condensateur plan permet d'obtenir un champ électrique uniforme $\vec{E}$ entre ses deux plaques lorsqu'on applique une tension électrique U_{AB} entre les plaques.



Le travail de la force électrique $\vec{F}_e = q\vec{E}$ qui s'exerce sur une particule de charge q > 0 et dont le point d'application se déplace de la position A à la position B est :

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = q\,U_{AB}.$$

Si l'on néglige le poids de la particule devant la force électrique qu'elle subit, l'application du théorème de l'énergie cinétique permet d'obtenir la variation d'énergie cinétique de la particule accélérée par une tension U_{AB} :

$$\Delta E_C = W_{AB}(\vec{F}_e) = q\,U_{AB}.$$

Une particule soumise n fois à une telle accélération, en étant initialement au repos, a donc une énergie cinétique finale $E_C(n) = n\,q\,U_{AB}$.

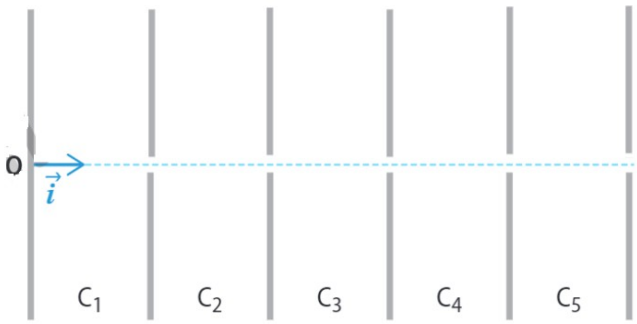
Si la particule de masse m entre dans un condensateur plan de longueur d avec une vitesse initiale v_0, l'application de la seconde loi de Newton permet d'obtenir l'expression de la vitesse en fonction du temps :

$$v(t) = \frac{q\,U_{AB}}{m\,d}\,t + v_0.$$

Document 2 : Modélisation d'un accélérateur linéaire

On modélise un accélérateur linéaire par une série de condensateurs plans C_n (C_1, C_2, C_3, C_4 et C_5) alimentés par un générateur. Paramètres choisis pour la modélisation :

- particule accélérée : un proton (masse $m = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg, charge $q = e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C) ;
- tension aux bornes du générateur : $U = 24$ kV ;
- taille des condensateurs : $d = 2{,}7$ cm ;
- le proton est introduit en O sans vitesse initiale ;
- intensité de la pesanteur $g = 9{,}81\ m.s^{-2}$.



II. Questions :

1-Montrer que le poids du proton est bien négligeable devant la force électrique qu'il subit à l'intérieur de l'un des condensateurs plan.

2-a) Le proton est dans le consensateur C_1. Quels doivent être les signes des charges des armatures de C_1 pour permettre l'accélération ? Justifier.

2-b) Sur le document fourni en **annexe**, représenter les fils électriques sur le schéma 1 pour avoir une alternance d'armatures positives et négatives.

2-c) Calculer la vitese v_1 du proton à la sortie de C_1 et la durée t_1 passée dans C_1.

3-a) Le proton entre dans C_2. Que se passe-t-il si rien n'est fait ?

3-b) Sur le schéma 2 de l'annexe, reproduire les branchements de la question 2-b) et représenter la polarité du générateur permettant de poursuivre l'accélération du proton. Représenter alors la polarité des différentes armatures.

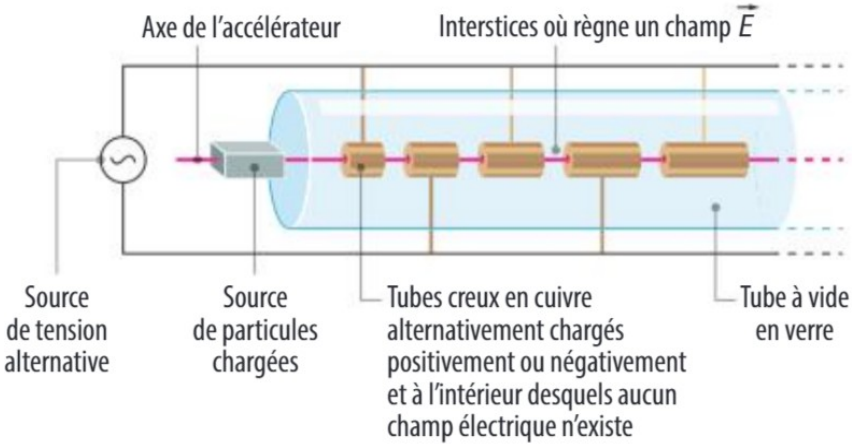
3-c) Calculer la vitese v_2 du proton à la sortie de C_2 et la durée t_2 passée dans C_2. Comparer t_2 avec t_1.

4-L'accélérateur linéaire est en fait alimenté par un générateur de tension alternative de période T : toutes les demi-périodes, il change de polarité. On choisit $T = 2\ t_1$ avec t_1 calculée à la question 2-c).

4-a) Expliquer pourquoi cela empêche d'utiliser des condensateurs successifs de même taille comme le prévoit le modèle du document 2. Faut-il que les longueurs des condensateurs successifs soient de plus en plus grandes ou de plus en plus petites ? Justifier.

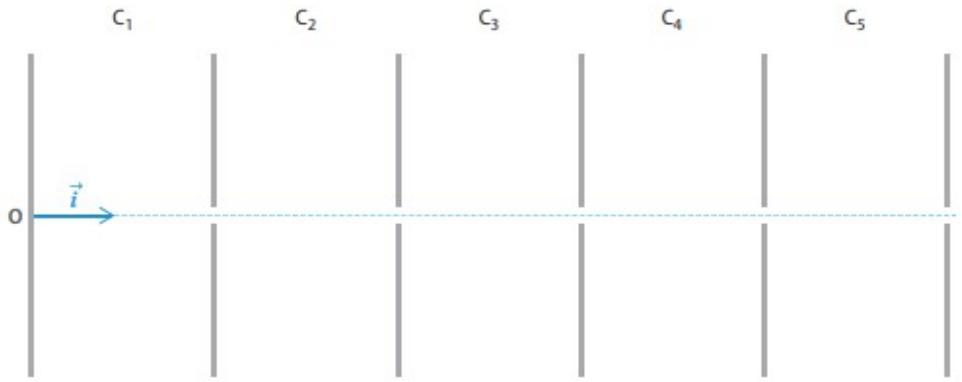
4-b) Déterminer le nombre de condensateurs nécessaires pour atteindre une vitesse $v = 0{,}1\,c$ où c est la vitesse de la lumière dans le vide ($c = 2{,}998 \times 10^8\,m.s^{-1}$).

5-En radiothérapie, des accélérateurs linéaires communiquent une grande énergie cinétique à des électrons, afin que ceux-ci provoquent la destruction des cellules cancéreuses visées. Quel peut être l'intérêt de les accélérer en plusieurs fois comme dans le schéma ci-dessous plutôt qu'en une seule fois avec un seul condensateur plan ?



- Annexe -

Schéma 1



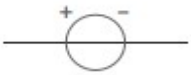
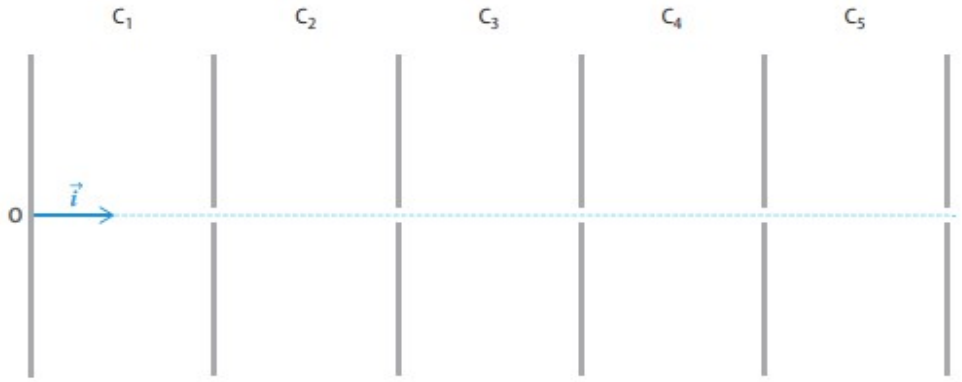
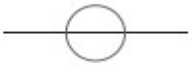



Schéma 2